

ANALISIS KANDUNGAN UNSUR DALAM LIMBAH PADAT (BLOTONG) DARI PABRIK GULA DENGAN TEKNIK PENGAKTIFAN NEUTRON CEPAT

Riyatun

Jurusan Fisika – FMIPA – UNS Surakarta

Sunardi

Laboratorium Akselerator – P3TM BATAN Yogyakarta

ABSTRAK

ANALISIS KANDUNGAN UNSUR DALAM LIMBAH PADAT (BLOTONG) DARI PABRIK GULA DENGAN TEKNIK PENGAKTIFAN NEUTRON CEPAT. Telah dilakukan analisis kandungan unsur yang terdapat pada limbah padat / blotong dari PG Tasikmadu Surakarta dengan teknik analisis pengaktifan neutron cepat di P3TM BATAN Yogyakarta. Hasil analisis menemukan kandungan terbesar unsur adalah nitrogen. Unsur besi, pospor dan mangan juga terdapat dalam sampel. Oleh karena itu blotong tersebut dapat digunakan sebagai bahan pupuk. Kandungan carbon dan hidrogen tidak teridentifikasi dengan teknik ini sehingga penelitian ini tidak dapat menyarankan pemakaian blotong sebagai bahan bakar.

Kata kunci : *Generator neutron, APNC*

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF ELEMENTS CONTENT IN SOLID WASTE (BLOTONG) OF SUGAR MILL BY FAST NEUTRON ANALYSIS ACTIVATION. There are nitrogen, iron, phosphorus, and manganese compound in solid waste/blotong of Tasikmadu Sugar Mill, Surakarta. All compound were obtained through fast neutron activation analysis in P3TM BATAN Yogyakarta. Thereby all compounds are suggested to be used as manure / kompos. Carbon was not identified with this technique so that this research cannot suggest to use of blotong as fuel.

Key words : *Neutron Generator, FNAA*

PENDAHULUAN

Limbah yang dihasilkan oleh pabrik gula (PG) tidak semuanya terbuang sia-sia. Limbah cair dari unit pengelola limbah PG banyak ditunggu para petani untuk mengairi sawah. Selain limbah cair, PG juga menghasilkan limbah padat berupa abu, ampas kawut dan lumpur yang sering disebut blotong / ledhok / tamte.

Telah dirintis oleh PG Trangkil-Pati, pemanfaatan limbah padat berupa blotong menjadi pupuk anorganik/kompos. Sementara ini masih merupakan konsumsi khusus untuk lahan tebu milik PG. Produksi pupuk ini belum optimal karena berbagai kendala sehingga masih diperlukan pupuk urea dan Za pada lahan tebu tersebut^[1].

Pada PG Colomadu Surakarta, blotong ini belum dimanfaatkan. Limbah padat yang berbau tidak sedap ini ditumpuk di sekitar pembuangan

limbah PG, setelah sekian lama akan dibuang di lahan tebu milik PG. Akan tetapi pada musim hujan tiba, banyak penduduk sekitar PG mencari jamur yang bermunculan di atas blotong. Kebiasaan tersebut telah lama berlangsung karena jamur yang tumbuh di atas blotong tersebut rasanya lezat. Hal yang sama juga terjadi di PG lain, misalnya PG Rendeng – Kudus. Selain jamur payung tersebut ditemukan di atas blotong juga tumbuh di kebun tebu muda yang dipupuk dengan blotong^[2].

Selain untuk keperluan pupuk, blotong ternyata dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar. Penduduk di sekitar PG Djombang Baru – Jombang memadatkan lumpur blotong kemudian dicetak dan dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Api yang keluar dari blotong juga tidak kalah bagus, bahkan lebih hemat daripada kayu bakar dan minyak tanah. Selain untuk keperluan memasak bisa juga untuk membakar batu bata^[3].

Kelompok penelitian siswa MAN 3 Kediri berhasil memenangkan juara ke-3 LPIR 2003 yang diselenggarakan oleh Depdiknas dengan membuat briket blotong sebagai bahan bakar yang ekonomis^[4].

Penelitian ini berupaya untuk mengidentifikasi kandungan unsur dalam blotong untuk memberikan gambaran bagi pemanfaatan lebih lanjut dari limbah ini. Dipilihnya teknik Aktivasi Pengaktifan Neutron Cepat (APNC) berdasarkan keunggulan teknik ini, yaitu sangat baik digunakan untuk menentukan unsur-unsur ringan sampai medium, pendeteksi unsur secara simultan, dapat dilakukan dengan tanpa merusak sampel, waktu analisis relatif cepat, akurat dan teliti^[5].

DASAR TEORI

Prinsip APNC didasarkan pada pendeteksian energi sinar- γ karakteristik yang dipancarkan oleh inti unsur akibat interaksinya dengan neutron yang ditembakkan padanya. Reaksi yang terjadi pada inti dapat diprediksi berdasarkan besarnya koefisienampang lintang reaksi bahan dengan neutron (σ) yang telah dipelajari oleh para ahli sehingga terdapat macam-macam reaksi yang akan terjadi.

Sifat-sifat Neutron

Neutron adalah partikel tak bermuatan listrik, bermassa diam 1,008665 smu setara dengan energi 939,5 MeV. Massa proton lebih besar daripada massa gabungan proton dan neutron sehingga neutron bersifat radioaktif dengan waktu paroh 11,7 menit. Peluruhan neutron akan menghasilkan proton, $\beta(-)$ dan anti neutrino. Sifat neutron yang netral menyebabkan neutron mampu menembus atom tanpa gaya Coulomb dan mudah sampai ke inti atom. Meskipun dengan energi rendah neutron dapat mengadakan interaksi nuklir dengan inti atom. Meskipun demikian, terdapat fenomena khas bahwa bukan berarti neutron cepat lebih mudah berinteraksi dengan inti atom. Konsep ini memunculkan besaran tampang lintang reaksi^[6].

Interaksi Neutron Dengan Materi

Neutron tidak berinteraksi dengan elektron atom. Neutron berinteraksi dengan inti melalui gaya inti. Interaksinya dapat berbentuk reaksi hamburan, yaitu neutron hanya dibelokkan arahnya saja, atau neutron sempat memasuki inti atom tetapi terlepas kembali sebelum mengadakan interaksi lebih lanjut. Neutron dapat masuk ke dalam inti atom sehingga terjadi inti majemuk (tangkapan radiatif). Inti majemuk ini dalam keadaan tereksitasi dan

memancarkan partikel radioaktif menuju keadaan dasarnya. Peluruhan sinar- γ lebih berpeluang jika energi neutron adalah termal / rendah. Pengeluaran partikel radioaktif lain misalnya partikel- α, β, p, d juga dapat terjadi oleh inti majemuk. Kebanyakan terjadi pada inti ringan yang ditembak dengan neutron cepat. Pada inti-inti berat maka dapat terjadi reaksi pembelahan yaitu inti terpecah menjadi dua belahan utama disertai pancaran partikel neutron, inti belahan dapat bersifat radioaktif.

Oleh karena energi neutron sangat berpengaruh pada reaksi yang terjadi, terdapat pengelompokan jenis neutron berdasarkan energinya. Terdapat neutron termal, neutron epitermal, neutron lambat dan neutron cepat^[7]. Pembagian ini hanya untuk memudahkan energi yang sangat beragam dari neutron.

Prinsip Analisis Aktivasi Neutron Cepat

Dalam analisis unsur menggunakan neutron cepat, sampel diiradiasi dengan neutron cepat hasil dari generator neutron. Akibatnya, inti-inti atom dalam sampel akan mengalami reaksi nuklir dan menjadi radioisotop. Radioisotop yang dihasilkan akan bergantung pada jenis unsur, dimana radiasi sinar- γ yang dihasilkan oleh unsur tersebut adalah khas dan telah dipelajari secara teliti oleh para ahli. Pengamatan dengan menggunakan spektrometer- γ akan menuntun pada simpulan unsur yang terkandung oleh sampel.

Pada saat irradiasi dengan neutron cepat akan terbentuk unsur yang bersifat radioaktif, pada saat yang sama unsur tersebut akan meluruh. Laju bersih pembentukan radioaktif dalam sampel adalah^[7]

$$\frac{dn}{dt} = \phi \sigma N_T - \lambda n \quad (1)$$

Persamaan (1) tersebut adalah persamaan diferensial orde 1 sehingga penyelesaiannya adalah

$$n = \frac{\phi \sigma N_T}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (2)$$

Dengan n = jumlah inti radioaktif yang terbentuk, ϕ = fluks neutron, σ = tampang lintang aktivasi neutron, N_T = jumlah inti sasaran, dan λ = konstanta peluruhan radioaktif. Berdasarkan persamaan ini maka waktu irradiasi (t_r) harus diperhatikan dengan seksama. Setelah irradiasi selesai maka sampel terus meluruh, oleh karena itu waktu tunda, yaitu waktu antara selesai irradiasi sampai pencacahan sinar- γ dilakukan harus diperhatikan karena isotop yang diamati mempunyai waktu paroh beragam.

Tidak kalah pentingnya adalah kalibrasi detektor yang digunakan, yaitu kesesuaian energi yang ditunjukkan dengan nomor salur pada MCA. Setelah detektor terkalibrasi, efisiensi detektor juga harus ditentukan mengingat radiasi yang tercacah oleh detektor terbatas pada *window* yang dimilikinya, padahal partikel radioaktif memancar ke segala arah. Langkah ini dinamakan kalibrasi efisiensi detektor, dimana hasil kalibrasi ini menjadi koreksi terhadap cacah yang dideteksi oleh spektrometer- γ ^[8].

Untuk menentukan jenis unsur yang terkandung dalam sampel diperlukan besar puncak-puncak energi yang dipancarkannya. Dengan mengacu pada tabel aktivasi neutron / *neutron activation tables* dengan mempertimbangkanampang lintang reaksi, waktu paroh isotop, kelimpahan, tebakan adanya unsur dalam sampel maka dapat ditentukan jenis unsur yang dikandung pada sampel. Metode yang demikian sering disebut **analisis kualitatif**.

Untuk menentukan berapa konsentrasi unsur yang dikandung oleh sampel, diperlukan sumber standart unsur sebagai pembanding. Untuk itu sampel dan unsur standar yang telah diketahui dengan tepat kadar konsentrasinya, diiradiasi bersama untuk mendapatkan keadaan reaksi yang hampir sama dari segi fluks, energi neutron, serta lamanya proses irradiasi.

Kadar unsur dalam sampel dapat dihitung dengan membandingkan laju cacah sampel dan standart menurut persamaan

$$\frac{w_x}{w_x + w_s} = \frac{(cps)_x}{(cps)_{x+s}} \quad (3)$$

dengan w = kadar unsur dalam indeks x = sampel dan s = standart, cps = cacah per detik dari spektrometri- γ . Analisis untuk menentukan kadar disebut **analisis kuantitatif**.

Generator Neutron

Neutron cepat dihasilkan oleh reaksi inti. Reaksi fusi deuterium-tritium / *D-T reaction* atau $T(d,n)^4He$ menghasilkan neutron berenergi tunggal 14,5 MeV. Generator neutron SAMES J-25 di P3TM BATAN Yogyakarta memiliki kualifikasi yang dimaksud.

Gas deuterium dialirkan ke sumber ion untuk diionisasi dengan medan R-F. Ion-ion yang terbentuk akan didorong keluar dengan tegangan pendorong dan ekstraktor menuju tabung

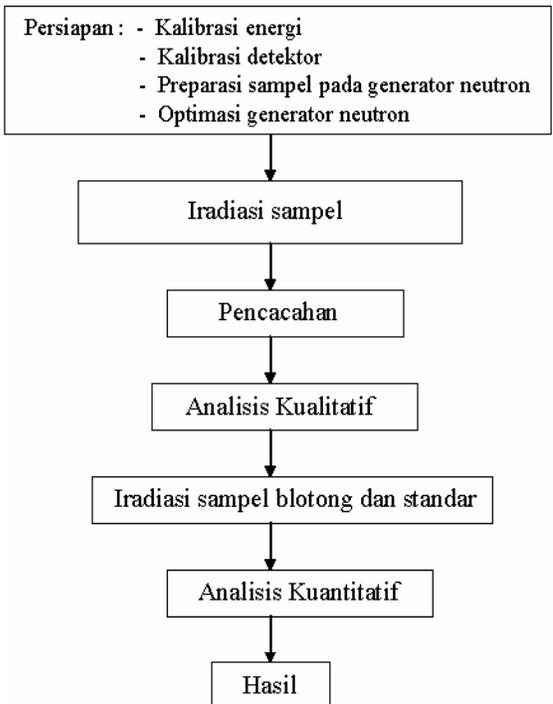
pemercepat dimana ion akan ditingkatkan energinya melalui pemasangan tegangan 150 kV. Berkas oin ini perlu difokuskan dengan lensa kuadropol listrik, kemudian ditumbukkan pada target tritium dalam titanium. Selanjutnya berkas neutron yang dihasilkan ditembakkan pada sampel yang akan dianalisis.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

- Generator Neutron P3TM BATAN Yogyakarta.
- Spektrometri- γ : Detektor HPGe, sistem Amplifier, MCA dan komputer.
- Sumber Eu-152 sebagai sumber pengkalibrasi energi.
- Sumber Co-60 sebagai sumber pengkalibrasi efisiensi detektor.
- Sampel blotong dari PG Tasikmadu.
- Sampel standar SRM (*Standard Reference Material*) 2704.
- *Stopwatch*.
- Kantung plastik.

Prosedur Penelitian :



**Gambar 1. Skema alur penelitian.
HASIL DAN PEMBAHASAN**

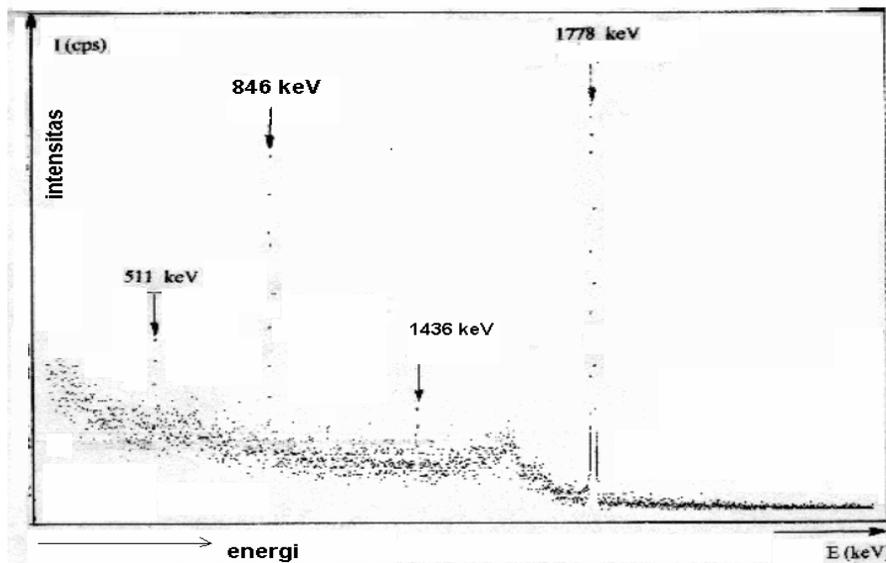
Hasil pencacahan sinar- γ untuk proses analisis kualitatif telah dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan, yaitu puncak energi sinar- γ , tampang lintang reaksi, waktu paroh isotop, dan kelimpahan di alam, dengan melihat *neutron activation tables*. Hasil analisis kualitatif disajikan pada Tabel 1, sedangkan Gambar 1. adalah salah

satu contoh spektrum energi dari cuplikan yang diaktivasi dengan neutron cepat 14 MeV.

Setelah diketahui unsure-unsur yang terkandung dalam cuplikan, selanjutnya analisis kuantitatif dilaksanakan dengan mengiradiasi ulang cuplikan dan standar *SRM 2704* secara bersama-sama, sehingga mendapatkan paparan neutron yang sama. Hasil pencacahan sinar- γ terhadap sampel dan standar disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil analisis kualitatif.

Energi (keV)	σ (mbarn)	$T_{1/2}$	Reaksi	Unsur
511	30	9,96 menit	N-14 (n,2n) N-13	N-14
846	103	2,58 jam	Fe-56 (n,p) Mn-56	Fe-56
1436	32	3,77 menit	Mn-55 (n, α) V-52	Mn-55
1778	118	2,24 menit	P-31(n, α) Al-28	P-31



Gambar 1. Spektrum energi dari Blotong yang diaktivasi dengan neutron cepat.

Tabel 2. Hasil pencacahan sinar- γ dari blotong dan standar *SRM 2704*.

No	Sampel blotong		Standar <i>SRM 2704</i>	
	Energi- γ (keV)	Cacah (cpm)	Energi- γ (keV)	Cacah (cpm)
1	511	28,2	511	45,6
2	846	78,6	846	93,6
3	1436	21,6	1436	38,4
4	1778	181,8	1778	58,8

Pada saat iradiasi berat sampel blotong 7,47522 gram dan berat standar BRS 0,46333 gram. Hasil analisis kuantitatif dengan memasukkan berat masing-masing sampel dan standart sesuai persamaan (3) menghasilkan kadar unsur dalam sampel, disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis kuantitatif.

No	Unsur	Kadar (ppm)
1	N - 14	$(407 \pm 8) \times 10$
2	Fe - 56	$(214 \pm 5) \times 10$
3	P - 31	(191 ± 5)
4	Mn - 55	(143 ± 4)

Pada Tabel 3. dapat dilihat bahwa berdasarkan hasil analisis pengaktifan dengan neutron cepat diketahui bahwa kandungan pada blotong dari kadar tertinggi berturut-turut adalah nitrogen (N), besi (Fe), posphor (P) dan mangan (Mn).

Tentu saja terdapat unsur-unsur lain yang belum teridentifikasi melalui teknik ini. Keterbatasan teknik aktivasi menggunakan neutron cepat adalah bagi unsur-unsur yang sulit teraktivasi/menjadi radioaktif jika berinteraksi dengan neutron cepat, unsur radioaktif yang terbentuk memiliki waktu paruh sangat pendek sehingga cacah sinar- γ telah habis meluruh ketika proses pencacahan dilakukan. Waktu paruh yang sangat panjang juga berhubungan dengan lama waktu iradiasi, bisa jadi belum terjadi unsur radioaktif selama proses irradiasi berlangsung. Oleh karena itu diperlukan teknik lain agar teridentifikasi unsur dalam sampel secara komplit.

Blotong Sebagai Pupuk

Makanan yang diperlukan oleh tumbuhan dapat dikelompokkan menjadi unsur makro dan unsur mikro. Unsur makro adalah unsur yang diperlukan mutlak dalam jumlah besar, misalnya C, H, O, N, S, P, K, Ca, dan Mg. Sedangkan unsur mikro adalah unsur yang dibutuhkan dalam jumlah yang sangat sedikit tetapi tanpa salah satu unsur tersebut hidup tanaman akan terganggu. Yang termasuk unsur mikro adalah Cu, Zn, Mo, Mn, V, Se, B, dan Si. Unsur-unsur ini biasanya diambil dari dalam tanah berupa garam-garam yang terlarut dalam air.

Pemakaian pupuk bermaksud untuk memperbaiki kondisi tanah yang kurang kualitas unsur makro dan mikro bagi tanaman. Pemakaian

pupuk sangat ditentukan oleh jenis tanah, jenis serta umur tanaman yang akan dipelihara. Oleh karena itu terdapat macam-macam jenis pupuk dengan kandungan unsur yang berbeda pula. Melihat kebutuhan unsur makro dan mikro bagi tanaman tersebut maka kandungan unsur dalam blotong dapat dimungkinkan sebagai pupuk.

Blotong Sebagai Bahan Bakar

Sebagai bahan bakar, bahan harus memiliki kualifikasi tertentu, misalnya kadar Carbon tertentu, titik nyala relatif rendah, nyala api baik, dan lain-lain. Dengan memakai teknik analisis pengaktifan neutron cepat, Carbon tidak dapat terdeteksi karena carbon alam C-12 yang teraktivasi oleh neutron cepat akan menghasilkan isotop stabil yakni C-13. Dengan demikian teknik APNC ini tidak dapat memberikan bukti secara ilmiah pemakaian blotong sebagai bahan bakar. Dengan teknik analisis lain mungkin kadar Carbon pada blotong dapat ditentukan.

KESIMPULAN

Dengan teknik analisis pengaktifan neutron cepat (APNC) dapat ditemukan unsur dalam blotong tebu dari PG Tasikmadu - Surakarta. Kadar nitrogen (N) cukup tinggi, yaitu $(407 \pm 8) \times 10$ ppm, kadar besi/Fe $(214 \pm 5) \times 10$ ppm, kadar posphor/P (191 ± 5) ppm dan kadar mangan/Mn (143 ± 4) ppm, sehingga secara ilmiah dapat disarankan untuk dijadikan pupuk tanaman. Unsur carbon tidak dapat diidentifikasi melalui metode ini sehingga penelitian ini tidak dapat menyarankan secara ilmiah pemakaian blotong sebagai bahan bakar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program SP4 tahun 2004 – Jurusan Fisika – FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta, atas dana dan ijin mengikuti *Batan Accelerator School (BAS)* 2004. Terima kasih pula pada segenap staf pengajar dan peneliti di P3TM BATAN Yogyakarta atas kesempatan yang telah diberikan.

DAFTAR ACUAN

- [1] -----, *PG Trangkil Investasikan Rp 6 Miliar*, Harian Suara Merdeka : 9 April (dari www.suamerdeka.com), 2004.

- [2] -----, *Jamur Ledhok di Badongan yang Lezat*, Harian Suara Merdeka : 18 Desember, (dari www.suaramerdeka.com), 2002.
- [3] NUR KHOLIS, *Blotong Bisa Dimanfaatkan Untuk Bahan Bakar*, Harian Jawa Pos : 12 Juni, (dari www.jawapos.co.id), 2003.
- [4] -----, *Penelitian Siswi MAN 3 Kediri Briket Dari Limbah Industri Gula*, Harian Republika : 05 September (dari www.republika.co.id), 2003.
- [5] SUNARDI, *Petunjuk Praktikum Batan Acceleration School 2004*, Yogyakarta : P3TM BATAN, 2004.
- [6] ARYA, P. A., *Fundamental of Nuclear Physics*, Boston : Allyn and Bacon, Inc., 1966.
- [7] DARSONO, *Aplikasi Teknologi Akselerator Ion Untuk Analisis Unsur*, Geologi dan Monitoring Lingkungan, Makalah Disampaikan Dalam Batan Accelerator School 2004, 7-18 Juni, 2004.
- [8] WISNU SUSETYO, *Spektrometri Gamma*, Yogyakarta : 1988.

TANYA JAWAB

Trimardji A.

- Apa buktinya bahwa, dengan APNC bisa mendeteksi/menganalisa sampai orde ppm?
- Berapa % kontribusi dari kesalahan kalibrasi detektor dan kalibrasi energi.
- Teknik lain apa yang lebih baik daripada APNC untuk analisa unsur?
- Mengapa σ (cross section) untuk Fe lebih besar dari pada N? Apa sebabnya.

Riyatun

- Berdasarkan perbandingan intensitas radiasi sinar- γ yang dipancarkan oleh sampel dan standar SRM (yang telah diketahui dengan tepat kadar dan massanya).
- Detektor yang digunakan adalah HPGc dengan resolusi tinggi, sebelum digunakan dikalibrasi dengan sumber Eu yang puncak- γ nya banyak, sehingga kesalahan diminimalkan. Belum pernah dihitung kontribusi kesalahan dari kalibrasi detektor.
- Teknik analisis unsur lain : APN, spektrometer/kimia. Belum tentu lebih baik tergantung sifat unsur yang akan diteliti.

- σ Fe \gg N muncul dari konsep kebolehan reaksi Fe dan N terhadap neutron cepat. σ Fe \gg σ N menunjukkan bahwa Fe lebih mudah bereaksi dengan neutron cepat daripada N. Sifat σ merupakan ciri khas r inti yang besarnya sangat ditentukan oleh jenis partikel, energi partikel dan jenis inti target.

Subarkah

- Unsur-unsur yang menimbulkan bau dari blotong itu apa saja?

Riyatun

- Yang menimbulkan bau biasanya asam (sulfur, amonia)/NH₃. Ternyata kandungan N memang paling tinggi.

Wisnu Wardono

- Dalam sampel blotong didapatkan bermacam-macam unsur, kira-kira proses apa yang mempengaruhi komposisi materi dari blotong tersebut?

Riyatun

- Proses dalam pabrik gula menggunakan macam-macam zat kimia, dari kandungan tebu sendiri mungkin telah bervariasi unsurnya.

Hidayati

- Dari penjelasan Ibu, energi netron yang menembak inti target = 14 MeV, sedangkan dari penjelasan Bp. Darmawan Darwis, energi dari MBE yang dipunyai P3TM = \pm 350 keV. Mohon penjelasan.

Riyatun

- Yang digunakan adalah netron dari Generator Netron. Sedang MBE P3TM adalah generator penghasil elektron, netron \neq elektron.

Mela

- Apakah setiap bahan yang mengandung NP langsung bisa digunakan sebagai pupuk ataukah ada standar khusus.
- Bagaimana membuat agar kesalahan APNC sekecil mungkin.

Riyatun

- Bergantung jenis tanah yang akan diperbaiki dan jenis tumbuhan yang akan mendapatkan pupuk tersebut. Itu sebabnya pupuk anggrek yang baru tumbuh lain dengan anggrek yang siap berbunga.
- Banyak hal :

- ketelitian menentukan ϕ netron
- ketelitian menimbang sampel

- ketelitian menimbang SRM material.